УДК 553.411.071.550.42(546.1+546.8)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОХИМИИ ТИТАНА, ФОСФОРА, МАГНИЯ В МЕЗОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОЛОТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ. Часть 2

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: lev@tpu.ru

Показано обогащение фемофильными элементами околорудных метасоматитов и руд месторождений Каралонского, Юбилейного, Верхне-Сакуканского Северного Забайкалья, Сухой Лог Ленского района, Советского Енисейского района и многочисленных мезотермальных золотых месторождений других регионов Земли. Сделан вывод о генерации содержащих упомянутые и другие (золото, платиноиды, ртуть, ванадий) фемофильные элементы флюидов в базальтовых очагах аномальной мантии, — вещество последней наследуют руды и метасоматиты мезотермальных золотых месторождений, а также газы и возгоны вулканов с мантийным питанием. Образование аномалий фосфора и титана обусловлено инверсией щелочного восстановленного режима поднимающихся из мантии флюидов на кислотный окислительный в верхних горизонтах Земной коры. Аномалии фемофильных элементов служат одним из комплекса признаков, используемых для доказательства геолого-генетической однородности оруденения, образованного в углеродисто-сланцевом и несланцевом субстрате, и обоснования концепции образования месторождений рассматриваемой совокупности на завершающем базальтоидном этапе формирования рудопродуцирующих антидромных гранит-долеритовых комплексов. Рекомендуется использовать фосфор-титановые аномалии в прогнозно-поисковых целях.

Введение

Вопрос о накоплении фемофильных элементов – магния, фосфора, титана в околожильных золотоносных березитах как явлении закономерном на примере позднепалеозойских [1] мезотермальных золотых месторождений Северного Забайкалья впервые обсуждался в [2, 3].

В [4] показано распределение элементов триады в околорудных метасоматических ореолах Ирокиндинского и Кедровского месторождений, образованных среди гнейсов, кальцифиров архейского фундамента, ультраметаморфических гранодиоритов, диоритов, и дайковых гранит-порфиров и долеритов, габбро, протерозойских углеродистых песчано-сланцев. Отмечено, что контрастные аномалии титана и фосфора локальны и приурочены к ближнему обрамлению глубинных разломов и их краевых швов, которые по этому и другим признакам квалифицированы как раствороподводящие при рудообразовании каналы.

В соответствии с целями данной работы [4] в настоящей статье приведены и обсуждаются данные о распределении фемофильных элементов в мезотермальных золотых месторождениях различных районов Земли, образованных в возрастном интервале около 2 млрд лет. Сформулированные геолого-генетические выводы следуют из анализа вещества мантии, руд и околорудных метасоматитов золотых месторождений и продуктов эксгаляционной деятельности вулканов с мантийным питанием в областях современного вулканизма.

1. Фемофильные элементы в околорудных метасоматических ореолах и рудах мезотермальных золотых месторождений

В слабо золотоносных березитах, образованных среди углеродистых песчано-сланцев протерозойской водораздельной свиты на периферии Каралонского месторождения по данным петрохимических пересчетов в 1,5...1,7 раз повышено сравнительно с исходной породой содержание магния и тита-

на, участвующих соответственно в составе крупных, до 1,5 мм, порфиробластов-ромбоэдров сидерита, лейкоксена и рутила. По единичным пока данным химического анализа в апогранитных березитах северной площади месторождения вблизи рудоконтролирующего Главного Сюльбанского глубинного разлома содержание TiO_2 составляет 4,8 % против 0,32 % в граните, то есть повышено в 15 раз.

Примесь платины в концентрации до 0,13 % зафиксирована в золоте Юбилейного золоторудного месторождения в Северо-Муйском хребте [5].

При неизменном содержании титана и фосфора увеличивается концентрация магния в направлении тыловой зоны апогранитного околожильного метасоматического ореола в Верхне-Сакуканском месторождении Кодарского хребта на западной периферии Чарского выступа архея с возрастанием его массы в березите тыловой зоны в 5 раз сравнительно с исходным гранитом.

В месторождении Сухой Лог Ленского района тыловая зона в двух колонках зональных залежей прожилково-вкрапленных руд в составе кварца, серицита, магнезиально-железистых карбонатов, пирита, рутила, лейкоксена, апатита, образованных в догалдынской и хомолхинской толщах углеродистых сланцев протерозоя, содержит MgO в 2 и 5 раз, P_2O_5 – в два раза больше сравнительно с исходными сланцами [6]. В рудных залежах отмечаются аномальные концентрации золота, серебра, платины (до 1,17 г/т), палладия, титана, хрома и других элементов [7, 8]. В составе руд диагностированы фосфаты Ce, Nd, La (монацит) и Y, Ga, Dy, самородная платина, твёрдые растворы системы Pt-Fe-Cu, сперрилит $PtAs_2$, теллуровисмутит Pd и Ag [8], голубой и розовый апатит [9]. Идентифицированы также металлоорганические соединения благородных металлов [10].

Н.В. Петровская, подчёркивая единообразие околорудных изменений позднепротерозойских углеродистых сланцев во всех золотых месторождениях Енисейского района, которые согласно результатам более поздних исследований отвечают березитовой формации [11], обращает внимание на высокие содержания рутила (до 2,5 %) и турмалина в околожильном пространстве Советского месторождения, считая рутил сингенетичным сланцам [12]. Позднее [13] она подчёркивает, что в Советском месторождении новообразования турмалина, апатита, рутила укрупняются около кварцевых жил с увеличением их содержания. Масса рутила, например, в некоторых участках достигает нескольких десятков процентов от массы изменённых пород. Включения мелких кристаллов апатита, ильменита, рутила участвуют и в составе жильного выполнения. Анализируя распределение упомянутых компонентов в ближнем околожильном пространстве (0,0...0,8 м), она высказывает мнение о том, что они перераспределялись при метасоматизме, извне поступал только бор. На высокую мобильность титана в околорудном метасоматическом процессе Советского месторождения указывает В.Л. Русинов с соавторами [14], а О.В. Русинова с соавторами [15] полагает, что титан привносился в процессе околорудного метасоматизма и фиксировался в составе ильменита. В ближнем околорудном пространстве вследствие повышения активности серы ильменит становился неустойчивым и замещался ассоциацией пирит+рутил. Промышленно интересные (до 1 г/т) содержания Pt недавно обнаружены в рудах этого месторождения [16].

Повышенные (аномальные) содержания в мезотермальных золотых рудах и околорудных метасоматитах некоторых фемофильных элементов свойственны древнейшим и фанерозойским месторождениям многих районов Земли.

В осевой полосе турмалинсодержащих метасоматитов рудоносной зоны в Олондинском зеленокаменном поясе позднего архея (Алданский щит) при содержании золота до 2,3 г/т и серебра до 0,46 г/т отмечены повышенные концентрации титана и фосфора, – последнего в форме крупных кристаллов апатита [17]. Аномальные содержания титана обнаружены в березитах месторождений Коннемарра и Кэтлин [18], а ванадийсодержащим мусковитом в ассоциации с турмалином и золото-теллуровой минерализацией обогащены руды месторождения Калгурли [19] архейского зеленокаменного пояса Западной Австралии. Ванадийсодержащие мусковит и рутил (до 8,5 % и 5,6 % пятиокиси ванадия соответственно) участвуют в составе руд и околорудных метасоматитов (березитов) архейского золотого месторождения Хемло (Онтарио) [20]. Аномальные концентрации титана выявлены в золотых рудах месторождения Мангалуру [21] и в кварце месторождения Колар [22] архейского зеленокаменного пояса Карнатака в Индии. В молодых месторождениях альпийской эпохи Эльдорадо (Калифорния) и Крипль-Крик (Колорадо) роскоэлит [23] и роскоэлит в ассоциации с обильным рутилом [24] отмечены в составе ореолов околорудного метасоматизма.

Сильная положительная корреляционная связь золота и титана свойственна метасоматитам и оруденению, образованным в углеродистых толщах колбинской и буконьской свит в Восточном Казахстане [25]. Титан и магний отмечены в составе элементов-примесей в золоте месторождений, приуроченных к зоне глубинного шарьяжа среди вулканогенно-осадочных углеродистых толщ Узбекистана [26]. В одном из золотоносных районов Урала примесь титана в золоте достигает 0,1 % [27]. До десятых долей процента титана содержится в пирите и арсенопирите золотых руд, контролируемых глубинным разломом и образованных среди верхнепалеозойских черносланцевых толщ Верхоянья [28]. Известны примеры накопления титана в двух-пятикратном размере в березитах, сопровождаемых полиметаллическими рудами [29].

2. Обсуждение результатов

Набор фемофильных элементов, обнаруженных в рудах и березитах золотых мезотермальных месторождений, с разной геологической позицией и разного возраста, образованных во временном интерва-

ле не менее 2 млрд лет, включает магний, титан, фосфор, ванадий, хром, металлы платиновой группы. Общим местом стали сильные геохимические связи в рудообразующих процессах золота и ртути, которые выражаются в высоком, до десятков процентов, содержании ртути в самородном золоте и золота в киновари и самородной ртути [30]. Обсуждаемые месторождения, в том числе Северного Забайкалья, в этом отношении не составляют исключения [31].

В реконструкции систем мезотермального золотого рудообразования, включающих области генерации металлоносных флюидов, следовательно, и энергии, пути транспорта флюидов в верхние горизонты земной коры и области рудоотложения, ведущее значение имеет вопрос об источниках золота и сопровождающих его в рудах в аномальных количествах элементов. В этом плане целесообразно обсудить приведённые факты, имея в виду, что понимание роли и места фемофильных элементов в образовании месторождений в сочетании с некоторыми другими данными, как будет показано далее, есть ключ к пониманию процессов в целом. Акцент при этом будет сделан на титан и фосфор в силу того, что оба элемента обладают достаточно чёткой геохимической и металлогенической специализацией и специфическими химическими свойствами; учёт последних обеспечивает реконструкцию pH-режимов флюидных потоков в областях генерации и на путях подъёма.

Все обсуждаемые фемофильные элементы обладают тесными геохимическими связями с производными основного и ультраосновного магматизма, что находит своё чёткое вещественное выражение и, очевидно, не требует долгих доказательств.

Подчеркнём, что среди вулканических пород максимальным содержанием главного металла руд – золота характеризуются базальты (в среднем 6...8 мг/т), причём содержание его уменьшается с увеличением их щёлочности [32]. В мантийных перидотитах и коматиитах из верхнепротерозойских офиолитов Аравии, Мали и Марокко установлены концентрации золота до 0,03...0,05 г/т, а в акцессорном магнетите его содержание достигает 0,1 г/т [33]. Известны факты обособления в мантийных условиях свободного золота в верлитах, гранатовых лерцолитах [34], в кимберлитах [35], каплевидных выделений золота и антимонита в лампрофирах [36]. Эти и другие подобные и многочисленные факты соотносятся с данными о накоплении золота до 0,n г/т в каменных и железных метеоритах, и даже до 13 г/т в железном метеорите Алгарробо [37, 38], но не сопоставимы с содержаниями металла в осадочных (1...3 мг/т) и средних-кислых изверженных (2...4 мг/т) породах. Поэтому справедливо и золото относить к фемофильным металлам. Магний, титан, фосфор, ванадий, хром, платиноиды, обладая наивысшим кларком в основных и ультраосновных изверженных породах, образуют промышленные концентрации в результате дифференциации исключительно основных и ультраосновных расплавов.

Поскольку содержание фемофильных элементов во внешних зонах околорудных метасоматических ореолов и в исходных породах за их пределами на уровнях залегания месторождений близки, нет оснований предполагать в качестве их источников вмещающий субстрат. Маловероятно также участие горных пород в формировании наборов и концентраций фемофильных элементов в металлоносных флюидах на путях подъёма последних. Этот вывод следует из понимания того, что щелочные, сильно щелочные флюиды, фильтруясь по поровому пространству пород, выщелачивали бы не только титан и фосфор, но и кремнезём, который также растворим исключительно в щелочных средах. Учитывая вероятно значительную протяжённость (километры, десятки километров) транспортных путей, можно полагать, что флюиды насыщались бы кремнезёмом, скажем, в форме солей щелочных металлов слабой кремниевой кислоты, задолго до поступления их в области рудоотложения. В этом случае извлечение кремнезёма уже насыщенными им флюидами из вмещающих месторождения пород, которое постоянно фиксируется в рудных полях, было бы маловероятно. Остаётся допустить, что достигающие уровней рудообразования флюиды не содержали соединений кремния в сколько-нибудь заметных количествах. Это, в свою очередь, означает, что потоки металлоносных растворов не фильтровались сквозь толщи пород, а поднимались по наиболее проницаемым структурам – разломам, которые выполняли дренирующую функцию. Приразломное положение аномалий титана и фосфора свидетельствует о трансформации щелочного режима флюидов на кислотный на подрудных, околорудных уровнях и о раствороподводящей роли разломных структур высокой проницаемости.

Если источниками фемофильных элементов, исходя из приведённых фактов и рассуждений, не могут быть коровые очаги гранитной магмы и субстрат земной коры, и если маловероятно движение потоков высокобарических и высокотемпературных металлоносных флюидов от дневной поверхности и сбоку от рудных полей, опустимся в мантию и посмотрим, что происходит там.

В результате детальных петрологических и геолого-геофизических исследований в районах тектоно-магматической активизации современных континентальных рифтов, например, в режиме которой образуются, в частности, мезотермальные золотые месторождения [39], установлено формирование мантийных магматических очагов за счёт глубинного вещества аномальной мантии, обогащающего магму щелочами, в первую очередь калием, титаном, фосфором и рядом некогерентных элементов [40].

Путём изучения мантийных ксенолитов получены многочисленные эмпирические данные, свидетельствующие о подвижности титана и фосфора в аномальной мантии в процессе мантийного метасоматизма и обогащении вещества аномальной мантии титаном в форме высокотитанистых флогопита и биотита [41] и фосфором в форме апатита [42]. К,

Mg, Ti – метасоматизм в мантии, генерируемый богатыми калием, магнием, титаном, барием флюидами, подтверждается находками минералов ряда $K(Cr, Ti, Fe, Mg, Al)_{12}O_{19}$ – $Ba(Cr, Ti, Mg)_{12}O_{19}$ в кимберлитах и их ксенолитах [43]. На существование в мантийных флюидах летучих соединений титана указывают каёмки металлического титана в обрамлении (на стенках) флюидных включений в оливине щелочных базальтов [44]. Как доказано теоретическими расчётами и результатами экспериментов, подвижность титана и фосфора обеспечивается высокощелочным режимом мантийных флюидов [41, 45]. Подвижности титана и переходу его из расплавов во флюид способствуют обводнённость мантийных расплавов при снижении в них давления [46], например, при достижении корнями глубинных разломов мантийных очагов, повышенная (более 800 °С) температура в системе [45], а перенос титана при мантийном метасоматизме подтверждается наложенным характером ильменитовой и рутиловой минерализации в нодулях мантийного вещества, присутствием в ксенолитах высокотитанистого флогопита и существенными вариациями содержаний титана в мантийных магмах [41]. Подвижность фосфора в высокощелочных условиях также возрастает с увеличением концентрации магния, а не кальция [47], и суммы щелочей, что обеспечивает миграцию фосфора в эндогенных процессах метасоматизма преимущественно в форме натриево- и калиево-фосфатных, главным образом, калиево-фосфатных комплексов [48].

Присутствие воды в аномальной мантии и участие её в мантийном метасоматизме, который, как и в земной коре, осуществляется путём взаимодействия флюидов и пород [49], доказывается: 1) прямыми признаками проявления процесса лиственитизации в мантии [50]; 2) многочисленными наблюдениями водосодержащих минералов мантийного происхождения – флогопита, амфиболов, биотита, K-рихтерита [41, 42, 51, 52], высоким содержанием воды во включениях в ранних мантийных минералах, например, оливине [53]; экспериментальными данными и термодинамическими расчётами [54, 55].

В верхней мантии химические элементы, включая фемофильные, находятся в форме металлоорганических соединений, содержащих F, Cl, S, и неорганических комплексов. Основанием для такого заключения служат: 1) обнаружение полициклических ароматических углеводородов в ксенолитах лерцолита из щелочных базальтов; 2) открытие тяжёлых алканов в мантийных ксенолитах ультрабазитов из различных районов Земли; 3) присутствие неорганических газов в породах верхней мантии, алмазах, гранатах и оливине из кимберлитовых трубок Якутии [56]. В связи с этим и подобными выводами других исследователей уместно провести параллель с составом руд золотых мезотермальных месторождений, в которых постоянно участвуют газообразные углеводороды CH_4, C_2H_6 и другие, N_2, H_2 (вакуоли в кварце и других минералах), кероген, битумоиды, металлиды и интерметаллиды [2, 3, 5, 10, 15, 31 и др.]. Присутствие в рудах перечисленных компонентов указывает на восстановленный режим поступавших в блоки рудообразования металлоносных флюидов.

Таким образом, в мантии существуют предпосылки для создания щелочных восстановленных водных флюидов и формирования в них ансамбля растворённых веществ, которые представляют первоочередной интерес в рамках рассматриваемой проблемы. Если очагов аномальной мантии достигают глубинные разломы, не видно препятствий для того, чтобы в условиях декомпрессии формировались в значительных объёмах и устремлялись вверх по разломам такие металлоносные флюиды. Судя по ситуации в рудных полях [39], процесс должен быть пульсационным.

Теперь наступило время подняться по разломам из мантии на поверхность в районы функционирования современных вулканов с мантийным питанием и с помощью ряда исследователей посмотреть, что происходит в вулканических аппаратах.

В последние годы получены данные о составе газовых флюидов и отложенных из них минеральных образованиях в вулканах Большой Толбачик (Камчатка), Кудрявый (Курильские острова), Колима (Мексика) и других. Продукты извержений этих вулканов – базальты, андезибазальты.

Вулканические газы вулкана Кудрявый имеют максимальную температуру в местах выхода от 870 °С [57] до 940 °С [58], вулкана Большой Толбачик – 870 °С [59]. Они состоят в основном из воды [58], на Б. Толбачике – на 93...97 %, содержат CO_2 (0,5...2,8 мол. %), H_2S (до 1,25 мол. %), SO_2 (до 2,3 мол. %), примеси H, NH_4, HCl, HF. Как указывает М.А. Коржинский с соавторами, опираясь на изотопные данные и учитывая температуру вулканических газов, вверху они лишь слегка смешиваются с метеорными водами.

В возгонах вулкана Б. Толбачик и Колима обнаружено самородное золото в форме плоских гексагональных кристаллов размером до 0,3 мм [59]. На вулкане Колима кристаллы самородного золота размером 5...40 мкм найдены в искусственных сублиматах в кварцевой трубке в форме плоских тригональных и пентагональных пластинок. Золото осадилось в температурном режиме 550...600 °С в ассоциации с ванадийсодержащими сульфатами. Множество разноразмерных частиц металлических твёрдых растворов состава Au-Ag-Cu изучено в искусственно полученных возгонах и образованных в естественных обстановках кристаллизации из газового флюида. Совместно с золотом при температуре 870 °С отложены вольфрамит, гематит, шеелит, некоторые фосфаты. Отмечается, что по термодинамическим данным поведение Au, Ag, Cu сходно в гидротермальных растворах как жидких, так и газовых.

На вулкане Кудрявый в отложениях кратера и в вулканических газах обнаружены платина и палладий, причём палладий всегда преобладает над пла-

тиной [57]. В составе разнообразной рудной минерализации в твёрдых породах участвует в высоких (1065...1670 ppb) концентрациях осмий, который также получен при температуре 870 °C в искусственных сублиматах в кварцевых трубках, то есть в конденсатах газового флюида. Металлы платиновой группы входят в состав многокомпонентной ассоциации элементов, которые переносятся во флюиде. Ведущим механизмом высокотемпературного минералообразования признаётся газотранспортный перенос и отложение твёрдых фаз из газового надкритического флюида.

В продуктах эксгаляций Большого Толбачика образованы шунгит и графит, диагностированы карбид W, цинкистая медь, самородные Fe, Cu, Al, Bi, Zn, Sn, Au, свидетельствующие о восстановленном режиме вулканических газов [60], а также самородный α-титан с гексагональной элементарной ячейкой, синтетический аналог которого получен в высоко восстановительной обстановке при температуре более 700 °C [61].

Подводя итоги, подчеркнём, что приведённые материалы демонстрируют очевидные причинно-следственные связи между тем, что происходит в мантии, в вулканических аппаратах областей современного вулканизма с мантийным питанием, происходило и, надо думать, продолжается сейчас в блоках мезотермального золотого рудообразования на некоторых глубинах земной коры.

Фемофильные элементы – Mg, Ti, P и другие, включая драгоценные металлы, экстрагируются мантийными флюидами из субстрата мантии, активно участвуют в процессах мантийного метасоматизма, транспортируются по глубинным разломам щелочными восстановленными флюидами в верхние горизонты земной коры вплоть до земной поверхности.

Если условия для инверсии физико-химических режимов поднимающихся мантийных металлоносных флюидов создаются на промежуточных, скорее всего верхних уровнях земной коры вследствие, скажем, смешения их с метеорными водами глубоких уровней циркуляции, реализуется рудообразующий процесс. Как и продукты эксгаляционной деятельности вулканов, руды и метасоматиты образующихся месторождений наследуют металлогеническую специализацию (золото, платиноиды) и геохимические черты рудообразующих флюидов, что выражается, в частности, в формировании аномалий и фемофильных элементов – ртути, магния, титана, фосфора, ванадия, вероятно, хрома. Последние выступают в качестве вестников мантийных глубин. Флюидные потоки могут быть весьма масштабными: валовая эмиссия газа вулкана Кудрявый, например, составляет 30 000 т генерируемой базальтовыми расплавами воды в сутки, а за сто лет вулканическим газом может быть перенесено (в тоннах): Mo – 83, Pb – 2500, Cd – 260, Bi – 68, Re – 3,6 и т.д. [62].

С чередующимся режимом излияния расплавов и истечения флюидов в вулканических аппаратах областей современного вулканизма согласуется аналогичный режим магматогенных гидротермальных рудообразующих процессов прошлых геологических эпох. Эти процессы реализуются в условиях активной магматической деятельности в рамках функционирования антидромных флюидно-магматических комплексов [2, 39]. На раннем этапе становления последних в коре образуются массивы палингенных гранитоидов или зрелые очагово-купольные ультраметаморфические постройки под воздействием безрудных мантийных, возможно, более глубинных флюидов-теплоносителей, генерируемых в начале активизации (разогревания) мантии, или инициирующих разогревание, если они поступают с бо́льших глубин и проникают в субстрат коры. Последующая дифференциация образованных базальтовых расплавов в направлении некоторого усиления их щёлочности сопровождается периодическим выделением щелочных восстановленных металлоносных флюидов и внедрением их по глубинным разломам в Земную кору в чередовании с умеренно щелочными базальтовыми расплавами, формирующими дорудные, внутри- и позднерудные (послерудные) дайки умеренно щелочного оливинового долерита. С повышенной щёлочностью базальтовых расплавов соотноситься щелочной режим выделяемых ими металлоносных флюидов, а отмечаемое в некоторых районах обеднение золотом сравнительно с базальтами нормального ряда щелочных базальтов, возможно, связано с выносом металла щелочными флюидами.

В обсуждаемой концепции учтены и другие факты – всеобщий контроль золотых мезотермальных месторождений глубинными разломами в типовых геодинамических режимах островных дуг и континентальных рифтов [39], близкие к мантийным изотопные отношения серы сульфидов и углерода карбонатов руд [2], $^{87}Sr/^{86}Sr$-отношения в ранних гранитоидах и другие [2, 39].

На связь золотообразующих гидротермальных систем с источником базитового геохимическиго профиля указывает эффект положительной европиевой аномалии в шеелитах мезотермальных золоторудных месторождений [63], участвующих в составе руд обычно на средне-нижнерудных уровнях.

Остаётся пока открытым вопрос о том, почему эмпирическая информация о титане и фосфоре во многих золотых мезотермальных месторождениях, однородных по геолого-генетическим показателям [39], остаётся фрагментарной или отсутствует, хотя сведения об этой ассоциации как закономерной составляющей продуктов рудообразующих процессов опубликованы давно [2]. До сих пор в литературе можно встретить работы, в которых, исходя из представлений об инертности титана и фосфора при кислотном метасоматизме, по этим элементам нормируются содержания других элементов в петрохимических пересчётах.

Можно предполагать несколько причин. Одна приведена выше – это инверсия щелочного режима поднимавшихся металлоносных флюидов на кис-

лотный ещё в раствороподводящих разломах на подрудных уровнях и, как следствие, массовое осаждение элементов ниже уровней формирующихся месторождений. Другая сводится к тому, что узко локальный (приразломный) характер Ti-P аномалий [4] в сочетании с устойчивым мнением об инертности элементов в условиях образования метасоматитов березитовой формации и, поэтому, отсутствием интереса к ним, не способствует разработке более или менее полного представления об этом явлении. Третья заключается в том, что оба элемента или один из них присутствуют в металлоносных флюидах не всегда вследствие особенностей генерации последних в мантийных очагах. Однако цена проблемы высока и исследование её продолжается.

Явление обогащения титаном и фосфором (в сочетании с магнием, ванадием и другими элементами) может быть использовано при прогнозировании и поисках (оценках) золотых месторождений. Извлечение информации из результатов прошлых лет или обнаружение аномалий одного или обоих элементов при геологических исследованиях любых масштабов и назначения, в том числе при поисках и разведке месторождений, будет указывать на близость раствороподводящих глубинных разломов, золотые руды относительно которых распределены, как правило, также вполне закономерно: с удалением, хотя и на значительно бóльшие расстояния, от глубинных разломов постепенно и существенно снижаются запасы руд. Выделить участки наиболее богатых руд, получить общее представление о вероятном распределении запасов их на площади уже на стадии прогнозирования и поисков представляется чрезвычайно важным, прежде всего в районах, закрытых чехлом рыхлых отложений и/или в районах сланцевого типа, где множество зон повышенной трещиноватости и проницаемости ограничивает возможности выявления стволовых раствороподводящих разломных структур. Получение информации об аномалиях фемофильных элементов способствовало бы уточнению стратегии и тактики прогнозно-поисковых и оценочных работ.

Выводы

1. Околорудным метасоматическим ореолам и рудам мезотермальных золотых месторождений Северного Забайкалья, Ленского и Енисейского районов допалеозойского обрамления Сибирского кратона, образованным в кристаллическом и черносланцевом субстрате, свойственны комплексные магний-фосфор-титановые аномалии, фрагменты которых фиксируются в других мезотермальных золотых месторождениях с разной геологической позицией и разного, начиная с позднего архея, возраста.
2. Аномалии фосфора и титана контролируются зонами глубинных разломов, локальны и приурочены к ближнему обрамлению краевых и внутренних швов этих зон.
3. Источниками фемофильных элементов, включая золото и платиноиды, служат базальтовые очаги аномальной мантии, которые генерируют водные флюиды и формируют в них ансамбли растворённых веществ, выносимых флюидами в верхние горизонты земной коры на уровни мезотермального рудообразования и на дневную поверхность в областях вулканической деятельности. Руды мезотермальных золотых месторождений, как и газы и возгоны вулканов с мантийным питанием, наследуют металлогенические (золото, платиноиды) и геохимические (фемофильные и другие элементы) черты аномальной мантии.
4. Накопление инертных в кислотных средах титана и фосфора в продуктах кислотного метасоматизма – березитах, а также минеральная форма титана (рутил, лейкоксен) есть следствие инверсии на околорудных или подрудных уровнях образующихся месторождений щелочного восстановленного режима поднимающихся порций мантийных металлоносных флюидов на кислотный окислительный и, как следствие, перехода обоих элементов из растворённых соединений в твёрдую фазу. Многие другие металлы, в том числе золото и платиноиды, частично сохраняются в растворённом состоянии и перемещаются с флюидами на бóльшие от раствороподводящих разломов расстояния.
5. Участие в составе березитов и руд титана, фосфора, магния в аномальных концентрациях в месторождениях, образованных в углеродисто-сланцевом и несланцевом (кристаллическом) субстрате, служит дополнительным к многим другим признаком геолого-генетической однородности тех и других и принадлежности их к поздним базальтоидным производным антидромных флюидно-магматических гранит-долеритовых комплексов.
6. Узко локальный приразломный характер фосфор-титановых аномалий открывает возможность использования их в прогнозно-поисковой и оценочной практике для выделения раствороподводящих разломов, к которым тяготеют и наиболее крупные скопления золотых руд. Особенно это актуально в районах сланцевого типа, где глубинные рудоконтролирующие и раствороподводящие разломы фундамента трассируются в потенциально рудоносных сланцевых толщах множеством зон повышенной трещиноватости, из которых лишь немногие выполняют раствороподводящие функции. Актуально это и в районах с мощным чехлом рыхлых отложений и, вследствие этого, с ограниченным объёмом прогнозно-поисковой информации. Вместе с тем, отсутствие фосфор-титановых аномалий не должно влиять на оценку перспектив изучаемой площади.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко И.В. Позднепалеозойская эпоха золотого оруденения в докембрийском обрамлении Сибирской платформы // Известия АН СССР. Сер. геологич. – 1989. – № 6. – С. 90–102.
2. Кучеренко И.В. О фосфор-магний-титановой специализации золотоносных березитов // Доклады АН СССР – 1987. – Т. 293. – № 2. – С. 443–447.
3. Кучеренко И.В. Пространственно-временные и петрохимические критерии связи образования золотого оруденения с глубинным магматизмом // Известия АН СССР. – 1990. – № 10. – С. 78–91.
4. Кучеренко И.В. Теоретические и прикладные аспекты изучения геохимии титана, фосфора, магния в мезотермальных золотых месторождениях. Часть 1 // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 49–55.
5. Жиляева А.И., Наумов В.Б., Кудрявцева Г.П. Минеральный состав и флюидный режим формирования золоторудного месторождения Юбилейного (Забайкалье, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42. – № 1. – С. 63–73.
6. Шаров В.Н., Шмотов А.П., Коновалов И.В. Метасоматическая зональность и связь с ней оруденения. – Новосибирск: Наука, 1978. – 103 с.
7. Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Сафонов Ю.Г. и др. Рудообразующая система золото-платинового месторождения Сухой Лог // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления: Матер. 2-го Всеросс. металлогенического совещ., г. Иркутск, 25–28 августа 1998 г. – Иркутск: ООО "Сантай", 1998. – С. 296.
8. Митрофанов Г.Л., Дистлер В.В., Немеров В.К. и др. Платиноносность стратиформных золоторудных месторождений рифейской окраины Сибирского континента // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления: Матер. 2-го Всеросс. металлогенического совещ., г. Иркутск, 25–28 августа 1998 г. – Иркутск: ООО "Сантай", 1998. – С. 315–316.
9. Намолов Е.А., Чиркова В.М. Типоморфные ассоциации и региональная минеральная зональность золото-кварцевых жил Бодайбинского рудного района // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири: Тез. докл. регион. научн. конф. – Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 1986. – С. 62–63.
10. Развозжаева Э.А., Прокофьев В.Ю., Спиридонов А.М. и др. Благородные металлы и углеродистое вещество в рудах месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2002. – Т. 44. – № 2. – С. 116–124.
11. Михеев В.Г., Смышляев В.Н., Середенко Г.А. Минералого-химические особенности околорудно изменённых пород золоторудного месторождения Советского (Енисейский кряж) // Вопросы минералогии, петрографии и геохимии Красноярского края. – Красноярск: Книжн. изд-во, 1975. – С. 108–114.
12. Петровская Н.В. Минералогические поисковые критерии в условиях Енисейского кряжа // Труды научно-исследовательского геологоразведочного института золота. – Вып. 18. – М, 1951. – С. 74–86.
13. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 347 с.
14. Русинов В.Л., Русинова О.В. Метасоматические процессы в углеродистых толщах в региональных зонах сдвиговых деформаций // Доклады РАН. – 2003. – Т. 388. – № 3. – С. 378–382.
15. Русинова О.В., Русинов В.Л., Абрамов С.С. и др. Околорудные изменения пород и физико-химические условия формирования золото-кварцевого месторождения Советского (Енисейский кряж, Россия) // Геология рудных месторождений. – 1999. Т. 41. – № 4. – С. 308–328.
16. Сазонов А.М., Алгебраистова Н.К., Сотников В.И. и др. Платиноносность месторождений Средней Сибири. – М.: ЗАО "Геоинформмарк", 1998. – 36 с.
17. Шапорина М.Н., Попов Н.В. Рудопроявление золота в Олондинском зеленокаменном поясе (Алданский щит) // Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика: Тез. докл. I Сибирского симпозиума с международным участием, г. Красноярск, 1–3 декабря 1999 г. – Красноярск: КГАЦМиЗ, 1999. – С. 138–139.
18. Eggo A.J., Doepel M.G. Discrimination between altered and unaltered rocks at the Connemarra and Kathleen Au deposits, Western Australia // Journal of Geochemistry Exploration. – 1989. – V. 31. – № 3. – P. 237–252.
19. Nickel E.H., Grey J. E. A vanadium-rich mineral assamblage associated with the gold telluride ore at Kalgoorlie, Western Australia // Кристаллохимия минералов: Матер. 13-го Конгр. Междунар. минерал. ассоц. ММА, Варна, 19–25 сент. 1982 г. – София, 1986. – P. 899–908.
20. Harris D.C. The diverse mineralogy of the Hemlo Gold Deposit, Hemlo, Ontario // 14th General Meeting International Mineral. Association, Stanford, California, 13–18 July, 1986 year: Abstract Program. – Washington, 1986. – P. 120.
21. Ugarkar A.G., Tenginkai S.G. Gold – quarts sulfide reefs of Mangaluru, Gulbarga district, Karnataka // Current Science. – 1988. – V. 57. – № 3. – P. 143–145.
22. Генкин А.Д., Сафонов Ю.Г., Боронихин В.А. и др. Новые данные по минералогии и геохимии золоторудного поля Колар, Индия // Геология и полезные ископаемые древних платформ. – М.: Наука, 1984. – С. 83–89.
23. Post J.L., Barnett J.L. Roscoelite type locality, El Dorado County, California // California Geology. – 1985. – V. 38. – № 5. – P. 99–103.
24. Thompson T.B., Trippel A.D., Dwelley P.C. Mineralized veins and breccias of the Cripple Creek district, Colorado // Economic Geology. – 1985. – V. 80. – № 6. – P. 1669–1688.
25. Марченко Л.Г. О роли углеродистого вещества в стратиформном золотом оруденении // Металлогения Урало-Монгольского складчатого пояса: Тез. докл. 10-го Всесоюзн. металлогенического совещ. – Т. 5. – Алма-Ата, 1983. – С. 8–10.
26. Королёва И.В. О вещественном составе руд одного из золото-сульфидных проявлений в вулканогенно-осадочных углефицированных толщах Узбекистана // Минеральные ассоциации месторождений цветных и благородных металлов Средней Азии. – Ташкент: ФАН, 1987. – С. 37–46.
27. Малюгин А.А., Червяковский С.Г., Сазонов В.Н. Новый россыпеобразующий тип золотого оруденения // Доклады АН СССР. – 1986. – Т. 288. – № 3. – С. 697–699.
28. Силичев М.К. Источники полезных компонентов в золоторудных проявлениях Южного Верхоянья // Геохимия в локальном металлогеническом анализе: Тез. докл. Всесоюзн. совещ., 28–30 октября 1986 г. – Т. 1. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1986. – С. 219–221.
29. Григорьев В.В., Чесноков В.И. Околорудные метасоматиты рудопроявления Новое (Полярный Урал) // Метасоматиты эндогенных месторождений Урала. – Свердловск: УрО АН СССР. – 1989. – С. 59–67.
30. Степанов В.А. Золото и ртуть Приамурской металлогенической провинции // Доклады РАН. – 1998. – Т. 358. – № 6. – С. 810–813.
31. Кучеренко И.В. Золото, серебро, ртуть в золотоносных апогнейсовых и апосланцевых околорудных метасоматических ореолах березитовой формации // Известия Томского политех-

нического университета. – 2000. – Т. 303. – Вып. 1. – С. 161–169.

32. Гавриленко Б.В., Минаев В.Е. Золото в разрезе земной коры и верхней мантии Таджикистана // Геохимия. – 2003. – № 10. – С. 1069–1083.
33. Buisson G., Leblanc M. Gold in mantle peridotites from upper proterozoic ophiolites in Arabia, Mali and Marocco // Economic Geology. – 1987. – V. 82. – № 8. – P. 2091–2097.
34. Чайка В.М., Нистратов С.В. Акцессорный циркон в мантийных породах // Происхождение и эволюция магматических формаций в истории Земли: Тез. докл. 7-го Всес. петрографич. совещ., г. Новосибирск, 8–12 сентября 1986 г. – Т. 2. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1986. – С. 76.
35. Некрасов И.Я., Яковлев Я.В., Павлова Л.А. и др. Необычные включения в самородном золоте из кимберлитов трубки "Мир" // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 303. – № 5. – С. 1209–1213.
36. Некрасов И.Я. О магматогенной природе массивных золотосурьмяных руд // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 277. – № 5. – С. 1235–1239.
37. Горшков А.И., Винокуров С.Ф., Рябчиков И.Д. и др. Минералого-геохимические особенности золотоносного карбонадо из округа Пошареу, штат Мату-Гросу (Бразилия) // Геохимия. – 2000. – № 1. – С. 3–15.
38. Linder L., Buchwald V.F. Algarrobo, a new meteorite from Chili // Meteorites. – 1985. – V. 20. – № 4. – P. 699.
39. Кучеренко И.В. Петрологические и металлогенические следствия изучения малых интрузий в мезотермальных золоторудных полях // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 1. – С. 49–57.
40. Геншафт Ю.С. Континентальный рифтогенез – его эндогенные режимы и вулканизм // Происхождение и эволюция магматических формаций в истории Земли: Тез. докл. VII Всес. петрографич. совещ., г. Новосибирск, 8–12 сентября 1986 г. – Т. 1. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1986. – С. 113–115.
41. Рябчиков И.Д. Геохимическая эволюция мантии Земли. – М.: Наука, 1988. – 37 с.
42. O`Reilly S.Y., Griffin W.L. Mantle metasomatism beneath western Victoria, Australia. I. Metasomatic processes in Cr-diopside Lherzolites // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1988. – V. 52. – № 2. – P. 433–447.
43. Nixon P.H., Condliffe E. Yimengite of K-Ti metasomatic origin in kimberlitic rocks from Venezuela // Miner. Mag. – 1989. – V. 53. – № 3. – P. 305–309.
44. Щека С.А., Малахов В.В., Романенко И.М. и др. Флюидный режим базит-гипербазитовых магм (по данным включений в минералах) // Минералообразующие флюиды и рудогенез. – Киев: Наукова Думка, 1988. – С. 29–34.
45. Зарайский Г.П., Балашов В.Н. Метасоматическая зональность: теория, эксперимент, расчёты // Очерки физико-химической петрологии. Вып. XIV. – М.: Наука, 1987. – С. 136–182.
46. Абрамович И.И., Клушин И.Г. Геодинамика и металлогения складчатых областей. – Л.: Недра, 1987. – 247 с.
47. Когарко Л.Н., Кригман Л.Д., Крот Т.В. и др. Растворимость P_2O_5 в магматических расплавах и процессы выноса фосфора из коры и мантии // Магма и магматические флюиды: Тез. докл. 2-го рабочего совещ. – Черноголовка: ИЭМ, 1985. – С. 93–96.
48. Смирнов Ф.Л. Геолого-геохимические основы и критерии поисков эндогенных апатитовых месторождений // Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы. Отдел геологич. – 1988. – Т. 63. – Вып. 1. – С. 121–130.
49. Wyllie P.J. Conditions for melting and metasomatism in the Earths mantle // Geologicky sbornik. – 1985. – V. 36. – № 3. – P. 323–335.
50. Климов Г.К., Климова А.И., Дусматов В.Д. Мантийный метасоматоз Центрального Таджикистана // Геология и полезные ископаемые бассейна р. Зеравшан. – Душанбе: Дониш, 1989. – С. 102–115.
51. Dawson J.B. Contrasting types of upper-mantle metasomatism? // Kimberlites: Proc. 3 Intern. Conf., Clermont-Ferrana, 1982. – V. 2. – Amsterdam e.a., 1984. – P. 289–294.
52. Stephen E.H., Erlank A.J., Grey J.K. Metasomatic mineral titanate complexing in the upper mantle // Nature. – 1986. – V. 319. – № 6056. – P. 761–763.
53. Moore A.E., Verwoord W.J. The olivine melilitite – "kimberlite" – carbonatite suite of Namaqualand and Bushmanlande, South Africa // Transactions of the Geological Society of South Africa. – 1985. – V. 88. – № 2. – P. 281–294.
54. Schneider M.E., Yggler D.H. Compositions of fluids in equilibrium with peridotite: implications for alkaline magmatism-metasomatism // Kimberlites: Proc. 3 Intern. Conf. Clermont-Ferrana, 1982. – V. 1. – Amsterdam e.a., 1984. – P. 383–394.
55. Mattioli G.S., Wood B.J. Upper mantle oxygen fugacity recorded by spinel Lherzolites // Nature. – 1986. – V. 322. – № 6080. – P. 626–628.
56. Зубков В.С. Роль мантийных углеводородов в металлогении литосферы // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления: Матер. 2-го Всеросс. металлогенического совещ., г. Иркутск, 25–28 августа 1998 г. – Иркутск: ООО "Сантай", 1998. – С. 48–49.
57. Дистлер В.В., Юдовская М.А., Знаменский В.С. и др. Элементы группы платины в современных фумаролах вулкана Кудрявый (остров Итуруп, Курильская островная дуга) // Геология, геохимия, геофизика: Матер. Всеросс. научной конф., г. Москва, 8–10 октября 2002 г. – Т. 2. – М.: ООО "Связь-принт", 2002. – С. 258–260.
58. Коржинский М.А., Ткаченко С.И., Бочарников Р.Е. и др. Магматическая дегазация и минералообразование на вулкане Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова) // Экспериментальное и теоретическое моделирование процессов минералообразования. – М.: Наука, 1998. – С. 143–168.
59. Юдовская М.А., Дистлер В.В., Чаплыгин И.В. и др. Формы нахождения золота в продуктах кристаллизации современных высокотемпературных газовых флюидов вулкана Кудрявый, Курильские острова // Доклады РАН. – 2003. – Т. 391. – № 4. – С. 535–539.
60. Главатских С.Ф., Трубкин Н.В. Находка шунгита в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачикского извержения (Камчатка) // Доклады РАН. – 2000. – Т. 371. – № 5. – С. 655–658.
61. Главатских С.Ф., Горшков А.И. Природный аналог α-титана в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачикского извержения (Камчатка) // Доклады РАН. – 1992. – Т. 327. – № 1. – С. 126–130.
62. Ткаченко С.И., Портер Р.П., Коржинский М.А. и др. Изучение процессов рудо- и минералообразования из высокотемпературных фумарольных газов на вулкане Кудрявый, о. Итуруп, Курильская дуга // Геохимия. – 1999. – № 4. – С. 410–422.
63. Успенский Е.И., Новгородова М.И., Минеева Р.М. и др. О европиевой аномалии в шеелите из золоторудных месторождений // Доклады АН СССР. – 1989. – Т. 304. – № 6. – С. 1455–1459.